

# بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف فنل بر کارایی برکه تثبیت بی‌هوازی در تصفیه فاضلاب پالایشگاه نفت کرمانشاه

علی الماسی<sup>۱</sup>

عبداله درگاهی<sup>۲</sup>

مقداد پیرصاحب<sup>۳</sup>

(دریافت ۸۹/۹/۱۱ آخرین اصلاحات دریافتی ۹۰/۱۰/۱۱ پذیرش ۹۰/۱۱/۱)

## چکیده

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف فنل بر کارایی برکه تثبیت بی‌هوازی در تصفیه فاضلاب نفت بود. این مطالعه از نوع تجربی تحلیلی بود. برکه تثبیت بی‌هوازی در مقیاس آزمایشگاهی با ابعاد  $1 \times 1 \times 2$  متر با استفاده از ورقه فایبرگلاس با ضخامت ۶ میلی‌متر طراحی، ساخته و راه‌اندازی گردید. زمان ماند هیدرولیکی برکه بی‌هوازی در این مطالعه ۲ روز و بار هیدرولیکی آن ۹۵ لیتر در روز منظور گردید. پس از راه‌اندازی و بذرباشی و تثبیت بیولوژیکی، نمونه برداشت شد. در این مطالعه فنل با غلظت‌های مختلف ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر ورودی پیلوت اضافه شد، سپس پارامترهای  $\text{NH}_3$ ،  $\text{PO}_4$ ، فنل به ترتیب در طول موج ۴۲۵، ۶۹۰، ۵۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر برای هریک از نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند و همچنین  $\text{pH}$ ،  $\text{SBOD}$ ،  $\text{TBOD}$ ،  $\text{SCOD}$ ،  $\text{TCOD}$  و نمونه‌ها نیز اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت فنل در برکه بی‌هوازی میزان حذف  $\text{BOD}$  در غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر فنل از فاضلاب پالایشگاه نفت به ترتیب  $71/75 \pm 8/14$ ،  $67/02 \pm 7/09$ ،  $61/69 \pm 4/43$  و  $53/56 \pm 6/03$  و برای  $\text{COD}$   $76/07 \pm 10/94$ ،  $68/95 \pm 6/12$ ،  $62/83 \pm 4/37$  و  $55/63 \pm 3/47$  کاهش یافت. می‌توان گفت این مسئله به دلیل سمیت بالای فنل برای باکتری‌های تصفیه‌کننده فاضلاب نفت است. بیشترین و کمترین راندمان حذف فنل توسط این سیستم برای غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، ۸۹/۸۲ درصد و برای غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر ۵۵/۸۶ درصد به دست آمد. نتیجه بررسی نشان داد که برکه تثبیت بی‌هوازی در مقیاس پیلوت، در صورت راهبری مناسب، کارایی بالایی در حذف ترکیبات آلی همراه با غلظت‌های مختلف فنل دارد.

**واژه‌های کلیدی:** برکه تثبیت فاضلاب، فنل، تصفیه فاضلاب، نفت، کرمانشاه

## The Effect of Different Concentrations of Phenol on Anaerobic Stabilization Pond Performance in Treating Petroleum Refinery Wastewater

Almasi Ali<sup>1</sup>

Abdollah Dargahi<sup>2</sup>

Meghdad Pirsaeheb<sup>3</sup>

(Received Dec. 2, 2010 Revised Jan. 1, 2012 Accepted Jan. 21, 2012)

## Abstract

In this study the efficiency of anaerobic stabilization pond for treating oil refinery wastewater at different concentrations of phenol is investigated. The anaerobic stabilization pond (ASP) was built from fiberglass plates (0.2m×1m×1m and 6mm thickness). The experimental apparatus was performed at HRT (2d) with hydraulic loading rate 95L/day. After inoculation of the biomass, reactor was run at different concentrations of phenol (100, 200, 300, and 400 mg/L). Sampling is carried out from effluent after achievement of steady state condition at all experimental tests. The samples for the determination of  $\text{NH}_3$ ،  $\text{PO}_4$  and Phenol, were analyzed using a spectrophotometer (Varian, UV-120-02). In addition, other parameters such as  $\text{TCOD}$ ،  $\text{SCOD}$ ،  $\text{TBOD}$ ،  $\text{SBOD}$ ، and  $\text{pH}$  were determined using standard methods. The results showed that the efficiency of system reduced at

1- Assoc. Prof. of Environmental Health Eng., Faculty Member of Social Development and Health Promotion Research Centre, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah

2- M.Sc. Student of Environmental Health Eng., Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah (Corresponding Author) 09141597907 a.dargahi29@yahoo.com

3- Assoc. Prof. of Environmental Health Eng., Faculty Member of d Health Research Centre, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah

۱- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، عضو هیئت علمی مرکز

تحقیقات توسعه اجتماعی و ارتقاء سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه (نویسنده مسئول) ۰۹۱۴۱۵۹۷۹۰۷ a.dargahi29@yahoo.com

۳- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه

phenol concentrations of 100, 200, 300, 400 mg/L. The maximum and minimum removal rates of BOD and COD were  $71.75 \pm 8.14$ ;  $76.07 \pm 10.94$  and  $53.5 \pm 6.03$ ,  $55.63 \pm 3.47$  by the system respectively at phenol concentrations of 100 and 400 mg/l. The optimum condition for phenol removal (89.82% and 55.86%) was determined with phenol concentrations of 100 mg/L and 400 mg/L, respectively. This study showed a comprehensive efficiency of anaerobic stabilization pond as a promising system to eliminate different concentrations of Phenol, COD and BOD, however increase of Phenol concentration to 400 mg/L was decreasing of system efficiency due to phenol toxicity for biomass.

**Keywords:** Anaerobic Stabilization Pond, Phenol, Wastewater Treatment, Oil, Kermanshah.

## ۱- مقدمه

فنل با فرمول ملکولی  $C_6H_5OH$  یکی از هیدروکربن‌های آروماتیک سمی با وزن مولکولی  $94/11$  گرم بر مول بوده که در حالت خالص بی‌رنگ یا جامد سفید است [۱ و ۲]. این ماده و مشتقات آن در صنایع متعددی از جمله صنایع تولید رزین، رنگ، سموم دفع آفات، داروسازی، پالایشگاه نفت، صنایع پتروشیمی، معادن زغال سنگ، صنایع فولاد و آلومینیوم و تعدادی صنایع دیگر کاربرد دارد [۳-۹]. با توجه به کاربرد گسترده فنل در فرایندهای صنعتی، این آلاینده به طرق مختلف به محیط زیست وارد می‌شود. ترکیبات فنلی دارای حلالیت زیادی در آب بوده و در نتیجه احتمال حضور آنها در منابع آب بسیار زیاد است. با توجه به ویژگی فنل نظیر حلالیت در آب و پایداری در محیط زیست، این ترکیب برای مدت زمان طولانی در محیط باقی می‌ماند و از طریق منابع آب قادر به انتقال تا مسافتهای طولانی است. ترکیبات فنلی به دلیل ویژگی‌های خاص نظیر سمیت، اثر بر طعم و بوی آب و اثر سوء بر سلامت انسان و موجودات زنده، بر اساس طبقه‌بندی آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا<sup>۱</sup> جزء آلاینده‌های دارای اولویت است [۲ و ۱۰ و ۱۱]. ترکیبات فنلی در صنعت پالایش نفت از تجزیه نفت خام و کراکینگ حرارتی یا کاتالیستی به دست می‌آید [۱۲]. آلاینده‌های دارای تقدم، ترکیبات آلی یا معدنی با اثرات شناخته شده یا مشکوک به سرطان‌زایی، جهش‌زایی، آسیب‌رسانی به جنین یا سم‌زایی بسیار شدید هستند [۱۳]. بنابراین تشخیص، شناسایی و تعیین میزان ترکیبات فنلی در محیط زیست و به ویژه منابع آب و متعاقب آن پایش محیط زیستی اهمیت زیادی در کنترل انتشار این مواد و کاهش اثرات این آلاینده‌ها بر محیط زیست دارد.

برای تصفیه فاضلابهای حاوی فنل، روشهای متعددی نظیر اکسیداسیون شیمیایی، جذب سطحی و تصفیه بیولوژیکی وجود دارد [۴ و ۱۶-۱۴].

در بین روشهای بیان شده، سیستم‌های بیولوژیکی به دلیل مزایای خاصی که نسبت به سایر روشها دارند، بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از مزایای عمده این روشها، سازگاری بیشتر با محیط زیست است [۱۷]. همچنین در این روش، هیچگونه ماده

شیمیایی زیان‌آوری برای محیط زیست مصرف نمی‌شود، لذا دفع پساب و لجن حاصل از این فرایندها نسبت به فرایندهای شیمیایی، اثرات سوء کمتری در منابع پذیرنده به دنبال دارد [۱۸]. برکه‌های تثبیت تصفیه فاضلاب در شمار ساده‌ترین فرایندهای تصفیه طبیعی قرار دارند. اولین سیستم برکه تثبیت به منظور تصفیه فاضلاب در شهر سان انتونیو در ایالت تگزاس آمریکا به بهره‌برداری رسید و بعد از آن کالیفرنیا، داکوتای شمالی و دیگر ایالت‌های آمریکا از برکه تثبیت به منظور تصفیه فاضلاب استفاده کرده‌اند تا جایی که تا سال ۱۹۸۰، تقریباً ۷۰۰۰ برکه تثبیت فاضلاب در آمریکا مورد استفاده قرار گرفته است [۱۹]. در حال حاضر تعداد بسیاری از برکه‌های تثبیت فاضلاب در سایر کشورها جهان مانند فرانسه، آلمان، پرتغال، هند، پاکستان، اردن و تایلند به منظور تصفیه فاضلابهای خانگی و صنعتی به طور چشمگیری مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۲۰ و ۲۱]. برکه تثبیت فاضلاب فرایندی ساده، کم هزینه و با راهبری آسان به منظور تصفیه فاضلابهای شهری و صنعتی در نواحی مختلف جهان است که معمولاً به صورت یک سری از برکه‌های بی‌هوازی، اختیاری و تکمیلی استفاده می‌شود. در این سیستم، آلاینده‌ها از طریق ته‌نشینی و یا تبدیل، طی فرایندهای بیولوژیکی و شیمیایی از جریان فاضلاب حذف می‌شوند [۲۲].

سیستم برکه‌های تثبیت دارای مزایای متعددی نظیر راهبری ساده با هزینه پایین، مصرف انرژی پایین، متکی بودن به منابع انرژی طبیعی، پذیرش شوک بار آلی و هیدرولیکی و توانایی تولید پساب تصفیه شده با کیفیت مناسب است، به طوری که پساب خروجی از یک سری برکه تثبیت قادر به دستیابی به شاخص انگلبرگ به منظور استفاده مجدد در کشاورزی است [۲۳ و ۲۴].

برکه‌های بی‌هوازی با عمق ۳ تا ۵ متر و زمان ماند ۲ تا ۵ روز احداث می‌گردند و به منظور شرایط بی‌هوازی، میزان بار حجمی آنها تا  $3 \text{ gBOD/m}^3 \cdot \text{d}$  ۴۰۰-۱۰۰ می‌رسد [۲۵-۲۷]. این برکه‌ها در فصل سرد عموماً برای ته‌نشینی جامدات به کار می‌روند، ولی در فصل گرم با افزایش دمای محیط ( $T > 20^\circ \text{C}$ ) تا ۷۰ درصد کاهش  $BOD_5$  دارند [۲۸ و ۲۹].

با توجه به اینکه در خصوص حذف فنل از فاضلاب پالایشگاه نفت توسط سیستم برکه بی‌هوازی تحقیقات گسترده‌ای صورت

<sup>1</sup> US Environmental Protection Agency (USEPA)

نگرفته است، لذا در این تحقیق با ساخت پایلوت برکه بی‌هوازی و بهره‌برداری از آن در جریان پیوسته، به بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف فنل بر کارایی برکه تثبیت بی‌هوازی در تصفیه فاضلاب پالایشگاه نفت کرمانشاه پرداخته شد.

## ۲- روش تحقیق

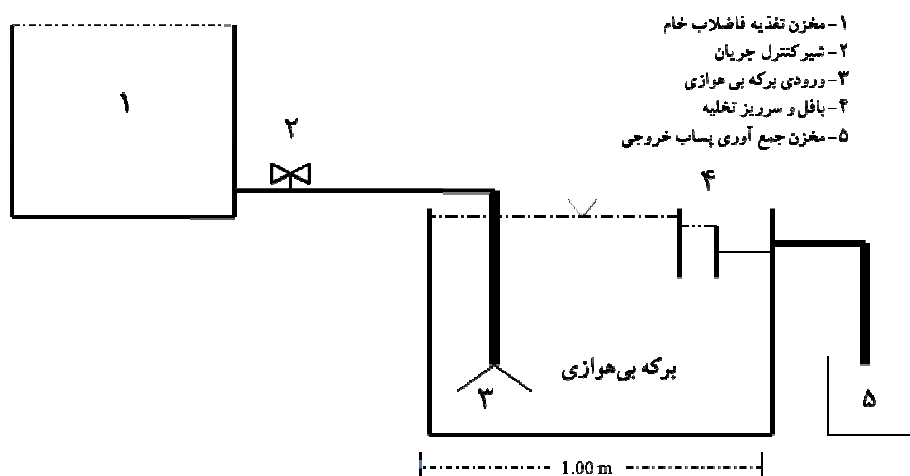
این مطالعه از نوع تجربی تحلیلی است. برای انجام این تحقیق برکه تثبیت بی‌هوازی در مقیاس آزمایشگاهی با ابعاد  $1 \times 1 \times 2$  متر با استفاده از ورقه فایبرگلاس با ضخامت ۶ میلی‌متر طراحی، ساخته و راه‌اندازی گردید. دمای هوای محیط بین ۲۵ تا ۴۲ درجه سلسیوس متغیر بود. متوسط دمای داخل برکه  $21 \pm 2$  درجه سلسیوس نگهداری شد. زمان ماند هیدرولیکی برکه بی‌هوازی در این مطالعه ۲ روز و بارهیدرولیکی این سیستم ۹۵ لیتر در روز بود. ورودی برکه بی‌هوازی در ۳۰ سانتی‌متری بالاتر از کف برکه تعبیه گردید. مشخصات کامل پایلوت برکه بی‌هوازی مورد استفاده در این مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. برکه توسط فاضلاب خروجی از واحد جداکننده روغن و گریس پالایشگاه نفت کرمانشاه به‌صورت روزانه بارگذاری گردید. قبل از راه‌اندازی سیستم، بذریابی و تلقیح آن انجام شد. به این ترتیب که قبل از بارگذاری سیستم با فاضلاب، مقدار  $1/5$  لیتر لجن فاضلاب شهری و یک لیتر لجن حاصل از تصفیه‌خانه پالایشگاه نفت که از قبل آماده شده بود، پس از به هم زدن و یکنواخت نمودن به ورودی سیستم منتقل گردید. پس از بذریابی به مدت ۳ ماه، سیستم برکه بی‌هوازی به‌منظور راه‌اندازی آماده شد. برای تنظیم میزان بارگذاری برکه بی‌هوازی در دامنه‌های تعریف شده، علاوه بر افزایش فنل از ملاس استفاده گردید به‌طوری که میزان بارگذاری برکه با افزایش همزمان فنل و ملاس در مقدار مشخص شده در هر مرحله بارگذاری قرار گرفت. در این مطالعه

فنل با غلظت‌های مختلف ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر به ورودی پایلوت اضافه شد (فاضلاب خام نیز حاوی فنل است)، سپس پارامترهای  $PO_4$ ،  $NH_3$  و فنل به‌ترتیب در طول موج ۴۲۵، ۶۹۰، ۵۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر واریان مدل UV-120-02<sup>۱</sup> برای هریک از نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و همچنین TCOD، SCOD، TBOD، SBOD و pH آنها تعیین گردید.

برای نگهداری و تحقق شرایط بی‌هوازی برکه، توان اکسیداسیون و احیای برکه اندازه‌گیری شد. این پارامتر با استفاده از دستگاه Kent ORP meter مدل ۷۰۲۰ با سنسور مدل Eil تعیین مقدار گردید. درجه خلوص فنل مورد استفاده در این تحقیق ۹۹ درصد بود و از شرکت مرک<sup>۲</sup> آلمان تهیه شده بود. برای اطمینان از چگونگی اثر سطوح سیستم نظیر تانک تغذیه، مجاری، اتصالات و جداره‌های برکه بر جذب فنل، ابتدا فنل با غلظت‌های تعیین شده حداقل به مدت ده روز با زمان ماند هیدرولیکی ۲ روز با استفاده از آب شیر، مورد مطالعه قرار گرفت. در چهار مرحله انجام شده نقصان فنل در پساب،  $1/8 \pm 0/4$  درصد بود که اختلاف معنی‌داری بین مراحل با غلظت‌های متفاوت فنل ورودی دیده نشد. برای روشن نمودن فرضیه فرآریت فنل از سیستم، سطح برکه با یک لایه پارافینی و پوشش نایلونی مسدود گردید و سپس کارایی سیستم ارزیابی شد. با ۵ نمونه پی در پی مشخص شد که میزان کارایی برکه بی‌هوازی در شرایط باز و بسته تقریباً با هم مساوی است. پس از احراز قابل اغماض بودن، مداخلات احتمالی جذب سطوح و فرآریت و تثبیت اکولوژیکی سیستم، نمونه‌برداری از ورودی و خروجی سیستم انجام شد. با تعیین مقدار پارامترهای انتخابی، محاسبه درصد حذف پارامترهای آلاینده مورد نظر صورت گرفت.

<sup>۱</sup> Varian UV-120-02

<sup>۲</sup> Merck



شکل ۱- شماتیک برکه بی‌هوازی

در این تحقیق برای هر کدام از غلظت‌های فنل، ۱۰ پارامتر و در مجموع ۱۲۰۰ نمونه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برای مقایسه کارایی برکه تثبیت بی‌هوازی در حذف پارامترهای مورد اندازه‌گیری در غلظت‌های مختلف فنل از آزمون آماری آنووا<sup>۱۴۵</sup> یکطرفه استفاده گردید. تمامی مراحل نمونه برداری و انجام آزمایش‌ها در این تحقیق مطابق با دستورالعمل‌های کتاب استاندارد متد انجام گردید [۳۰]. شرایط بهره‌برداری سیستم برکه بی‌هوازی بر اساس تجارب الماسی و پسکاد<sup>۱۴۶</sup> در سال ۱۹۹۴ است [۳۱]. نتایج آزمایش‌های اولیه برای تعیین کیفیت این فاضلاب در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج پارامترهای تعیین کننده کیفیت فاضلاب خام خروجی از سیپراتور پالایشگاه نفت کرمانشاه

پارامتر	میزان
TCOD	۶۲۲ میلی‌گرم در لیتر
SCOD	۴۹۵ میلی‌گرم در لیتر
TBOD	۲۰۴ میلی‌گرم در لیتر
SBOD	۱۲۶ میلی‌گرم در لیتر
TSS	۵۶ میلی‌گرم در لیتر
VSS	۴۴ میلی‌گرم در لیتر
N-NH <sub>3</sub>	۱۳/۱ میلی‌گرم در لیتر
Phenol	۶۹/۶ میلی‌گرم در لیتر
pH	۷/۹

<sup>145</sup> ANOVA  
<sup>146</sup> Pescod

### ۳- یافته‌ها

نتایج آزمایش‌های انجام گرفته به‌طور خلاصه در جدول‌های ۲ و ۳ و شکلهای ۲ و ۳ نشان داده شده است. جدول ۲ میانگین و انحراف معیار پارامترهای اندازه‌گیری شده در ورودی و خروجی از پایلوت برکه بی‌هوازی در غلظت‌های مختلف فنل به‌منظور تصفیه فاضلاب پالایشگاه نفت کرمانشاه و جدول ۳ راندمان حذف پارامترهای اندازه‌گیری شده در فاضلاب خروجی از پایلوت برکه بی‌هوازی پالایشگاه نفت کرمانشاه را نشان می‌دهند. شکل ۲ میانگین راندمان حذف پارامترهای  $\text{NH}_3$  و  $\text{PO}_4$  در غلظت‌های مختلف فنل توسط سیستم برکه بی‌هوازی از فاضلاب پالایشگاه نفت کرمانشاه و شکل ۳ میانگین راندمان حذف غلظت‌های مختلف فنل توسط سیستم برکه بی‌هوازی از فاضلاب پالایشگاه نفت کرمانشاه ارائه می‌نمایند.

همان‌طور که در جدول ۲ نمایان است بهره‌برداری از برکه‌های بی‌هوازی آزمایشگاهی به‌گونه‌ای بوده که شرایط کاملاً بی‌هوازی را تأمین نماید. متوسط توان اکسیداسیون و احیای برکه بی‌هوازی ( $\text{ORP} < -246$ )، شرایط بی‌هوازی در درون برکه برای چهار غلظت مختلف فنل را تأیید می‌نماید.

بعد از بهره‌برداری و موازنه جرمی، فرضیه فرآینت فنل مطرح شد که برای جلوگیری از این پدیده، سطح برکه با یک لایه پارافینی و پوشش نایلونی مسدود شد و سپس کارایی سیستم ارزیابی گردید. با ۵ نمونه پی در پی مشخص شد میزان کارایی برکه بی‌هوازی در شرایط باز و بسته تقریباً با هم مساوی است.

جدول ۲- مشخصات فاضلاب ورودی و خروجی از پایلوت برکه بی‌هوازی به‌منظور تصفیه فاضلاب پالایشگاه نفت کرمانشاه

غلظت فنل (mg/L)								
۴۰۰		۳۰۰		۲۰۰		۱۰۰		پارامتر
فاضلاب ورودی	پساب خروجی	فاضلاب ورودی	پساب خروجی	فاضلاب ورودی	پساب خروجی	فاضلاب ورودی	پساب خروجی	
۷/۱۱±۰/۲۹	۷/۸۸±۰/۳۴	۷/۰۵±۰/۳	۷/۷۹±۰/۳۶	۷/۰۱±۰/۲۱	۷/۸۱±۰/۴	۷/۰۲±۰/۳۶	۷/۸۴±۰/۳۶	pH
۱۴۰/۸۲±۲۲/۸۴	۳۰۲/۰۶±۱۷/۶۶	۱۰۵/۷۴±۱۳/۴	۲۷۷/۳۶±۳۱/۹۱	۸۱/۸۴±۱۵/۶۷	۲۴۹/۵۹±۲۱/۸۶	۵۹/۸۳±۲۰/۳۱	۲۱۰/۶۳±۳۱/۲۶	TBOD
۱۱۰/۵۱±۲۲/۸۴	۲۱۸/۶۵±۱۷/۶۶	۷۹/۴۵±۱۷/۲۲	۱۹۸/۸۶±۳۱/۹۱	۶۰/۶۴±۱۳/۵۸	۱۷۸/۵۶±۲۶/۲۷	۴۰/۸±۱۶/۰۴	۱۳۱/۲۴±۲۶/۷۳	SBOD
۴۲۹/۲۴±۵۷/۲۶	۹۹۶/۱±۸۴/۸۸	۳۱۹/۳۶±۵۵/۷۹	۸۵۷/۳۵±۹۸/۶۵	۲۳۹/۵۹±۴۳/۷۷	۷۷۳/۷۲±۵۵/۸۸	۱۶۲/۷۶±۹۱/۷۲	۶۵۱/۰۰۷±۷۹/۸۵	TCOD
۴۰۷/۰۸±۵۶/۴۱	۸۰۴/۲±۸۴/۸۸	۳۰۱/۶۲±۵۴/۴۱	۷۰۳/۳۵±۹۸/۶۵	۲۱۴/۵۹±۴۵/۰۶	۶۳۹/۲۵±۶۳/۷۸	۱۳۶/۱۷±۷۳/۳۶	۵۱۰/۹۵±۷۸/۶۵	SCOD
۱۲/۲۵±۲/۲۴	۱۸/۳۸±۳/۷۶	۱۰/۵۴±۲/۲۲	۱۷/۳۸±۳/۷۶	۱۰/۶±۲/۶	۱۸/۶۱±۲/۸۷	۶/۵۹±۳/۰۳	۱۳/۷۱±۵/۱۶	NH <sub>3</sub>
۱/۵۲±۰/۲۷	۲/۶۲±۰/۳۸	۱/۳۶±۰/۲۴	۲/۵۴±۰/۳۴	۰/۹±۰/۲۶	۲/۲۲±۰/۶۱	۰/۶۱±۰/۳۳	۱/۷۲±۰/۸۲	فسفات
۲۰۵/۱۵±۲۵/۴	۴۶۴/۱۸±۱۷/۹۹	۱۳۲/۶۳±۱۶/۷۵	۳۶۳/۸±۱۶/۸۵	۷۶/۹±۱۳/۳۷	۲۶۱/۷۱±۱۲/۴۱	۱۷/۳۴±۸/۷۸	۱۷۰/۲۲±۲۰/۸۱	فنل*
-	۱۴۳/۴۸	-	۱۳۱/۷۴	-	۱۱۸/۵۵	-	۱۰۰	بار حجمی
۳/۰۴	۳/۱۹	۳/۰۲	۳/۰۹	۲/۹۲	۳/۱۰	۲/۷	۳/۱۱	TCOD/TBOD
۱/۰۵	۱/۲	۱/۰۵	۱/۲۱	۱/۱۱	۱/۲۱	۱/۱۹	۱/۲۷	TCOD/SCOD
۱/۲۷	۱/۳۸	۱/۳۳	۱/۳۹	۱/۳۴	۱/۳۹	۱/۴۷	۱/۵۷	TBOD/SBOD

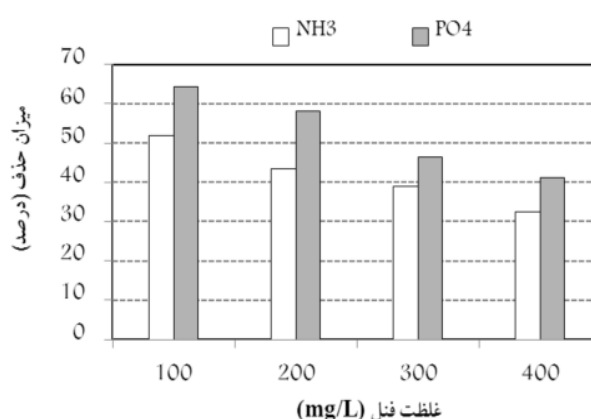
\* با توجه به اینکه فاضلاب خام بدون اضافه کردن فنل در غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ به‌ترتیب به‌طور متوسط حاوی ۰/۲۲، ۰/۷۱ و ۰/۶۳ میلی‌گرم در لیتر فنل بود.

جدول ۳- راندمان حذف پارامترهای اندازه‌گیری شده در فاضلاب خروجی از پایلوت برکه بی‌هوازی پالایشگاه نفت کرمانشاه

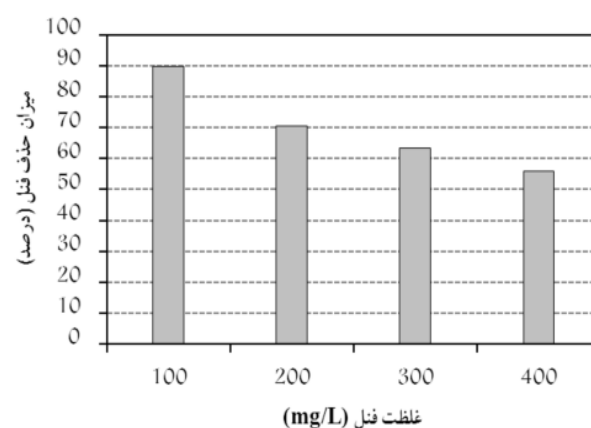
P-value	غلظت فنل (mg/L)				پارامتر (درصد)	
	۴۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰		
<۰/۰۰۱	۴۹/۶۷±۸/۲۳	۵۹/۸۳±۷/۲۹	۶۵/۳±۹/۹۲	۶۹/۳۲±۸/۹۲	SBOD	BOD
<۰/۰۰۱	۵۳/۵±۶/۰۳	۶۱/۶۹±۴/۴۳	۶۷/۰۲±۷/۰۹	۷۱/۷۵±۸/۱۴	TBOD	
<۰/۰۰۱	۴۹/۴۱±۳/۹۵	۵۷/۱۴±۴/۸۹	۶۶/۲۶±۱۴۴۸۷	۷۴/۲۹±۱۱/۱۹	SCOD	COD
<۰/۰۰۱	۵۵/۶۳±۳/۴۷	۶۲/۸۳±۴/۳۷	۶۸/۹۵±۶/۱۲	۷۶/۰۷±۱۰/۹۴	TCOD	
<۰/۰۰۱	۳۲/۵۴±۷/۷۴	۳۹/۰۳±۴/۵۵	۴۳/۳۹±۹/۶۹	۵۲/۹۶±۱۲/۸۶		NH <sub>3</sub>
<۰/۰۰۱	۴۱/۱۵±۱۱/۱۴	۴۶/۴۱±۷/۰۶	۵۸/۲۳±۱۱/۰۱	۶۳/۸۹±۱۱/۴۴		PO <sub>4</sub>
<۰/۰۰۱	۵۵/۸۶±۴/۶۹	۶۳/۴۷±۴/۹۸	۷۰/۵۳±۴/۸۴	۸۹/۸۱±۴/۷۱		فنل

میانگین به‌دست آمده برای BOD<sub>5</sub> و COD پساب نهایی برای تمامی غلظت‌های فنل (به‌جز غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) با اختلاف معنی‌داری از استانداردهای مربوط به استفاده مجدد در مصارف آبیاری بیشتر است ( $p < 0/05$ ). همچنین با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۲ و انجام آزمون آماری آنووا یکطرفه با استناد به سطح معنی‌دار  $\alpha$  برابر ۰/۰۵، می‌توان گفت که مقدار راندمان به‌دست آمده برای پارامترهای اندازه‌گیری شده (SCOD, TBOD, SBOD, NH<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub> و فنل) در غلظت‌های مختلف فنل (۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، با افزایش غلظت فنل، میزان حذف در خروجی برکه تثبیت بی‌هوازی با اختلاف معنی‌داری کاهش می‌یابد ( $p < 0/001$ ).

مطالعه پاپادوپولوس و همکاران<sup>۱</sup> نشان داده است که میزان حذف BOD<sub>5</sub> و COD فاضلاب شهری توسط سیستم برکه بی‌هوازی به ترتیب ۴۵ درصد و ۵۰ درصد بوده و نوسانات نسبت COD/BOD در ورودی و خروجی این سیستم به ترتیب ۲/۰۷ و ۲/۰۵ است [۳۲]. همچنین نتایج مطالعه ماحسن و همکاران<sup>۲</sup> که از برکه‌های تثبیت به‌صورت سری (بی‌هوازی، اختیاری و تکمیلی) برای تصفیه فاضلاب شهری در مصر استفاده کرده‌اند، نشان می‌دهد که راندمان حذف COD، BOD<sub>5</sub> و PO<sub>4</sub> توسط سیستم برکه بی‌هوازی به ترتیب ۲۸/۸۹، ۲۲/۲۱ و ۱۶/۹۱ درصد و برای برکه تکمیلی به ترتیب ۴۸/۹، ۵۰/۶۵ و ۴۷/۷۶ درصد به‌دست آمده است [۳۳]. با توجه به این نتایج می‌توان گفت که برکه‌های بی‌هوازی برای حذف ترکیبات شیمیایی اکسید شده متمایل‌تر از ترکیبات بیولوژیکی هستند، به‌همین دلیل حذف COD در این سیستم بالاتر از BOD<sub>5</sub> است. به‌عبارت دیگر حذف مواد آلی بیولوژیکی در برکه‌های اختیاری و هوازی در مقایسه با برکه‌های بی‌هوازی بیشتر از COD بوده است.



شکل ۲- میانگین راندمان حذف پارامترهای NH<sub>3</sub> و PO<sub>4</sub> در غلظت‌های مختلف فنل توسط سیستم برکه بی‌هوازی از فاضلاب پالایشگاه نفت کرمانشاه



شکل ۳- میانگین راندمان حذف غلظت‌های مختلف فنل توسط سیستم برکه بی‌هوازی از فاضلاب پالایشگاه نفت کرمانشاه

#### ۴- نتایج و بحث

با توجه به نتایج ارائه شده و انجام آزمون آماری T-Test تک گروهی با استناد به سطح معنی‌داری ( $\alpha = 0/05$ ) می‌توان گفت که

<sup>1</sup> Papadopoulos et al.

<sup>2</sup> Mahssen et al.

مطالعه فرزندکیا نشان می‌داد که میزان حذف BOD<sub>5</sub> و COD پساب خروجی کشتارگاه توسط سیستم برکه‌های تثبیت به ترتیب ۸۷/۴۸ و ۸۹/۴۲ درصد است [۳۴]. همچنین گلوینا<sup>۱</sup> گزارش داده است که در برکه‌های بی‌هوازی در دمای ۲۲ درجه سلسیوس و زمان ماند ۲ روز، بازده حذف BOD<sub>5</sub> تا ۴۲ درصد قابل انتظار است ولی به چگونگی رژیم جریان در برکه اشاره نکرده است [۳۵]. به‌طوری که بیشترین و کمترین میزان راندمان حذف BOD<sub>5</sub> و COD در خروجی برکه بی‌هوازی در غلظتهای مختلف فنل به ترتیب ۷۱/۷۵، ۷۴/۹۹ (غلظت فنل افزایشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و ۵۳/۵، ۵۵/۶۳ (غلظت فنل افزایشی ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر) درصد به‌دست آمده است که نشان دهنده درصد حذف بیشتر در این دو شاخص است.

در سالهای اخیر پژوهش بر روی روشهای مختلف تصفیه بیولوژیکی از جمله تجزیه بیولوژیکی پسابهای پالایشگاه نفت در یک پایلوت از نوع تماس دهنده بیولوژیکی چرخان<sup>۲</sup> انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که راندمان حذف TCOD توسط این سیستم ۹۹ درصد بوده است [۳۶]. همچنین مطالعه عالم‌زاده و همکاران نشان می‌دهد که راندمان حذف فنل از پساب پالایشگاه نفت توسط سیستم RBC در مقیاس آزمایشگاهی ۹۹/۹ درصد است [۳۷]. از طرفی دیگر مطالعه رحمانی و همکاران نشان می‌دهد که بیشترین راندمان حذف فنل با غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم در لیتر توسط فرایند UV/TiO<sub>2</sub>، ۸۳ درصد به‌دست می‌آید [۳۸]. بیشترین راندمان حذف فنل در این تحقیق برای غلظت فنل ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، ۸۹/۸۱ درصد بوده که بیشتر از حذف آن توسط فرایند UV/TiO<sub>2</sub> و کمتر از سیستم RBC است. با توجه به اینکه برکه بی‌هوازی در هیچ یک از غلظتهای مختلف فنل (به‌جز غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به‌تنهایی قادر به حذف آلاینده‌های آلی تا حد استانداردهای رایج تخلیه به محیط زیست نیست، به‌عنوان پیش تصفیه به‌کار می‌رود و متعاقب آن از برکه تثبیت آنوکسیک و اختیاری استفاده گردد.

در مطالعه راموس و همکاران<sup>۳</sup> که از برکه تثبیت در مقیاس آزمایشگاهی برای حذف فنل در غلظتهای مختلف از فاضلابهای حاوی فنل بالا استفاده کرده‌اند، نتایج نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین میزان حذف فنل برای غلظت ۱۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر است که به ترتیب برابر است با ۹۲ و ۲۲ درصد [۳۹]. همچنین مطالعه آولار و همکاران<sup>۴</sup> نشان می‌دهد که با افزایش غلظت فنل در فاضلاب ورودی، راندمان حذف توسط برکه کاهش می‌یابد [۴۰].

به‌طوری که بیشترین میزان حذف فنل در این مطالعه برای غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، ۸۹/۸۱ درصد و کمترین میزان حذف فنل برای غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر، ۵۵/۸۶ درصد به‌دست آمده است. مطالعه ناهید و همکاران نشان می‌دهد که با افزایش غلظت فنل از صفر تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر میزان حذف COD به‌دلیل سمیت فنل بر روی فعالیت توده میکروبی کاهش می‌یابد [۴۱]. تحقیقات اخیر توسط کمپانی شیمیایی DOW و در میدلند<sup>۵</sup> و میشیگان<sup>۶</sup> نشان داده است که فنل می‌تواند تا غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان ماده غذایی مورد استفاده باکتری‌ها قرار گیرد بدون آنکه اثرات سمی بر روی باکتری‌ها داشته باشد. مطالعات با این ترکیب و نیز با فرمالدئید، حد آستانه سمیت را برای باکتری‌های مزبور تعیین نمود. در پایین‌تر از آستانه سمیت، باکتری‌ها فنل را به‌عنوان مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌دهند اما در بالاتر از حد آستانه سمیت برای آنها اثر فوق‌العاده سمی دارد به‌طوری که باید ارگانیسم را از نو تجدید نمود [۴۲]. با توجه به نتایج می‌توان گفت که با افزایش غلظت فنل، کارایی سیستم برکه تثبیت بی‌هوازی به‌دلیل افزایش سمیت فنل بر روی باکتری‌های تصفیه کننده فاضلاب پالایشگاه نفت کاهش می‌یابد.

## ۵- نتیجه‌گیری

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که برکه‌های تثبیت بی‌هوازی در صورت راهبری مناسب، قابلیت حذف ترکیبات آلی در غلظتهای مختلف فنل با کارایی نسبتاً مطلوب را دارند. با توجه به ویژگی‌های خوب این سیستم نظیر انعطاف‌پذیری، سهولت اجرا، سادگی بهره‌برداری و راندمان نسبتاً خوب می‌توان از این سیستم به‌جای سیستم‌های گران و پیچیده‌ای نظیر لجن فعال و غیره استفاده کرد. در پایان صرف‌نظر از کاهش راندمان برکه بی‌هوازی در حذف مواد آلی کربنی و به تبع آن پایین بودن میزان کاهش فنل در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر، می‌توان گفت سیستم برکه بی‌هوازی به‌عنوان گزینه‌ای حائز هزینه-اثربخش در تصفیه فاضلابهای مواد نفتی و پتروشیمیایی حاوی فنل، قابل کاربرد است.

## ۶- قدردانی

نویسندگان این مقاله از مدیریت پژوهش پالایشگاه نفت کرمانشاه به‌خاطر تأمین بودجه پروژه تحقیقاتی و نیز مدیریت دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه به‌خاطر در اختیار قرار دادن امکانات آزمایشگاهی قدردانی می‌نمایند.

<sup>5</sup> Midland  
<sup>6</sup> Michigan

<sup>1</sup> Gloyna  
<sup>2</sup> Rotating Biological Contactor (RBC)  
<sup>3</sup> Ramos et al.  
<sup>4</sup> Avelar et al.

- 1- Sullivan, B.G., Garry, G.R., and Krieger, G.R. ( 2001). *Clinical environmental health and toxic exposure*, 2<sup>nd</sup> Ed., Lippin Cott Williams and Wilkins, USA.
- 2- Rappoport, Z. (2003). *The Chemistry of Phenols*, John Wiley and Sons, Ltd., Canada.
- 3- Cohrssen, B., and Charles, H. (2001). *Patties toxicology*, 5<sup>th</sup> Ed., John Wiley and Sons, Canada.
- 4- Patterson, J.W. (2003). *Wastewater treatment technology*, Ann Arbor Science Publishers Inc., USA.
- 5- Koutny, M., Ruzicka, J., and Chlachula, J. (2003). "Screening for phenol- degrading bacteria in the prsitine soils of south Siberia." *J. of Applied Soil Ecology*, 23, 79-83.
- 6- Watanabe, K., Yamamoto, S.H., Hino, S., and Harayama, S. (1998). "Population dynamics of phenol- degrading bacteria in activated sludge determined by GyrB-Targeted quantitative PCR." *J. of Applied and Environmental Microbiology*, 65, 1203-1209.
- 7- Whiteley, A.S., Wiles, S., Lilley, K., Philip, J., and Babailey, M.J. (2002). "Ecological and physiological analyses of pseudomonad species within a phenol remediation system." *J. of Microbiological Methods*, 44, 79-88.
- 8- Nicell, J.A. (1994). "Kinetics of horseradish peroxidase-catalyzed polymerization and precipitation of aqueous 4-chlorophenol." *J. of Chemical Technology and Biotechnology*, 60, 203-215.
- 9- Singh, N., and Singh, J. (2002). "An enzymatic method for removal of phenol from industrial effluent." *J. of Prep. Biochem. Biotechnol.*, 32(2), 127-133.
- 10- ErsÖz, A., Denizli, A., Izzet, S., Ayca, A., Sibel, D., and Ridvan, S. (2004). "Removal of phenlic compounds with nitrophenol-imprinted polymer based on T-T and hydrogen-bonding interactions." *J. of Separation and Purification Technology*, 38, 173-179.
- 11- Kinsley, C., and Nicell, J.A. (2000). "Treatment of aqueous phenol with soybean peroxidase in the presence of polyethylene glycol." *J. of Bioresource Tech.*, 22, 139-146.
- 12- Dyer, J.C., and Mignone, N.A. (1993). *Handbook of industrial residues*, Vol. 1, Environmental Engineering Series, Noyes Publications, Park Ridge, N.J., USA.
- 13- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., and Stensel, H.D. (2003). *Wastewater engineering treatment and reuse*, 4<sup>th</sup> Ed., Metcalf and Eddy, McGraw-Hill, Inc., USA.
- 14- Freeman, H. (2003). *Standard handbook of hazardous waste treatment and disposal*, McGraw-Hill, USA.
- 15- Akbal, F., and Nur, O.A. (2003). "Photocatalytic degradation of phenol." *J. of Environmental Monitoring and Assessment*, 83, 295-302.
- 16- Wang, K.H., Hsieh, Y.H., Chou, M.Y., and Chang, C.Y. (1999). "Photocatalytic degradation of 2- chloro and 2-nitrophenol by titanium dioxide suspensions in aqueous solution." *J. of Applied Catalysis B: Environmental*, 21, 1-8.
- 17- Kehma, H., and Reed, G. (2003). *Biotechnology*, 2<sup>nd</sup> Ed., WIEY- VCH, Weinhem, Germany.
- 18- Tchobanoglous, G. (2003). *Wastewater engineering*, McGraw- Hill, USA.
- 19- EPA. (1997). *Wastewater treatement facilities for sewerred small communitess*, Environmental Protection Agency, USA. 625/1 .77-99.
- 20- Mara, D.D. (1991). "A conversation." *J. of Water and Wastewater*, 6, 34-38. (In Persian)
- 21- Pooreshaq Naeini, M. (1999). "The evauation of wastewater stabilization ponds efficiencyin Isfahan province." M.Sc. Desertation, Isfahan University of Tech., Isfahan. (In Persian)
- 22- John, B., Sullivan, J.R., Gary, R., and Krieger, M.D. (1992). *Clinical environmental health and toxic exposures*, 2<sup>nd</sup> Ed., Lippincott Williams and Wilkins, USA.
- 23- Dezuane, J. (1997). *Handbook of drinking water quality*, 2<sup>nd</sup> Ed., Van Nostrand Reinhold, New York.
- 24- Roberts, E.R. (1992). *Bioremediation of peteroleum contaminate sites*, CRC Press, USA.

- 25- Mara, D.D., and Pearson, H.W. (1998). *Design manual for waste stabilization ponds in Mediterranean countries*, Lagoon Technology International, Leeds, UK.
- 26- Eckenfelder, W.W. (1970). *Water quality engineering For practising engineers*, Barnes and Noble Pub. New York ,USA.
- 27- Karia, G.L., Christian, R.A. (1991). *Wastewater engineering treatment, Disposal, Reuse*, 3<sup>rd</sup> Ed., Metcalf and Eddy, Mcgraw-Hill International Edition Engineering Series, USA.
- 28- Silva, S.A., and Mara, D.D. (1970). *Treatmentos biológicos de aguas residuarias: Lagoas de estabilização (Biological wastewater treatment: Stabilization pond)*, ABES, Rio de Janeiro , Brazil
- 29- Mara, D.D. (1976). *Sewage treatment in hot climates*, John Wiley, London , UK.
- 30- APHA. AWWA. WEF. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20<sup>th</sup> Ed. American Public Health Association, Washington, USA.
- 31- Moreno, M.D. (1990). "A tracer study of the hydraulic of facultative waste stabilization ponds." *J. of Wat. Res.*, 24, 1025-1030.
- 32- Papadopoulos, A., Parissopoulos, G., Papadopoulos, F., and Karteris, A. (2001). "Variations of COD/BOD5 ratio at different units of a wastewater stabilization pond pilot treatment facility." 7<sup>th</sup> *International Conference on Environmental Science and Technology Ermoupolis*, Syros Island, Greece.
- 33- Mahassen, M., and Azza, M. (2008). "Performance evaluation of a waste stabilization pond in a rural area in Egypt." *American J. of Environmental Sciences*, 4(4), 316-325.
- 34- Farzadkia, M. (2004). "A survey on the wastewater stabilization efficiency in treating Kermanshah slaughter wastewater." *J. of Water and Wastewater*, 51, 10-15. (In Persian)
- 35- Gloyna, E.F. (1981). *Waste stabilization pond*, Water Health Organization, Geneva.
- 36- Tyagi, A.R.D., Tran, F.T., and Chowdhury, A.K.M.M. (1993). "A pilot study of biodegradation of petroleum refinery wastewater in a polyurethane-attached RBC." *J. of Process Biochemistry*, 28, 75-82.
- 37- Alemzadeh, I., Vossoughi, F., and Houshmandi, M. (2002). "Phenol biodegradation by rotating biological contactor." *J. of Biochemical Engineering*, 11, 19-23.
- 38- Rahmani, R. (2006). "A survey on the possibility of photocatalytic degradation of phenol using UV/TiO2 process." *J. of Water and Wastewater*, 58, 32-37. (In Persian)
- 39- Ramos, M.S., Davila, J.L., Esparza, F., Thalasso, F., Alba, J., Guerrero, A.L., and Avelar, F.J. (2005). "Treatment of wastewater containing high phenol concentrations using stabilisation ponds enriched with activated sludge." *J. of Water Science and Technology*, 51(12), 257-260.
- 40- Avelar, F.J., Martí'nez-Pereda, P., Thalasso, F., Rodríguez-Vázquez, R., and Esparza-García, F.J. (2001). "Upgrading of facultative waste stabilisation ponds under high organic load." *J. of Biotechnol. Lett.*, 23, 1115-1118.
- 41- Nahid, P., and Kazemi, A. (2004). "Bioactivity improvement in activated sludge treatment of petroleum refinery wastewater." *J. of Water and Wastewater*, 50, 23-28. (In Persian)
- 42- Shahmansoori, M., and Movahedian, A. (1994). *Environmental Chemistry*, Vol. 1, Isfahan University of Medical Science, Pub., Isfahan. (In Persian)